

# 现代物理学 前沿选讲

On Selected Topics of the Frontiers of Modern Physics

(第二版)

黄祖洽/著



火种，深情寄木铎

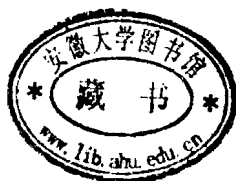


科学出版社

# 现代物理学前沿选讲

## (第二版)

黄祖洽 著



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书从宇观、微观和宏观三方面分别介绍一些关于现代物理学前沿发展的概况。大到宇宙的结构,其过去发展的历史和未来发展的趋势;小到组成物质的原子和亚原子结构;中间涉及极端条件(低温、高压、强电磁场)下物质所表现出的各种新现象和新规律。既试图扼要地讲述相关的物理内容,也尽可能介绍一些现代物理学发展过程中的故事。希望引起读者了解和学习物理的兴趣,认识物理对于发展社会物质文明和精神文明的意义,体会研究物理学的方法。

现在的这本小书是以授课讲义为基础,经过修改、补充、整理出来的。书中所介绍内容涉及 51 个诺贝尔奖(包括近 12 年的诺贝尔物理学奖)的有关内容。

本书可供大学低年级学生或讲授有关课程的大、中学教师参考,也可供对现代物理学前沿发展有兴趣的读者作为高级科普读物来阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代物理学前沿选讲/黄祖洽著. —2 版. —北京:科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-036850-8

I. ①现… II. ①黄… III. ①物理学-研究 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013) 第 039944 号

责任编辑:刘凤娟 尹彦芳/责任校对:刘亚琦

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计

**科学出版社**出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳艺恒彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2007 年 9 月第 一 版 开本: A5 (890×1240)

2013 年 3 月第 二 版 印张: 7 1/2

2013 年 3 月第四次印刷 字数: 230 000

定价: 48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 第二版序言

《现代物理学前沿选讲》出版至今已 5 年。5 年来，现代物理学的前沿已经有了相当大的推进：除了新获诺贝尔物理奖的工作外，最近关于 Higgs 粒子的发现及不久前关于第三种中微子震荡的实验证实，都是足以引起全球物理学家注意的进展。我们在这次第二版中对这些前沿向读者作出简短的及时介绍，感到非常愉快。

黄祖洽

2012 年 12 月 13 日



# 目 录

## 第二版序言

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第 1 讲 前言 .....                | 1  |
| 1.1 大家都可以来了解现代物理学前沿 .....     | 1  |
| 1.2 为什么要选修物理学 .....           | 2  |
| 1.3 现代物理学中的不同专业 .....         | 5  |
| 1.4 现代物理学的前沿 .....            | 7  |
| 1.5 关于参考书 .....               | 14 |
| 第 2 讲 时空观念的变化——从牛顿到爱因斯坦 ..... | 17 |
| 2.1 引言 .....                  | 17 |
| 2.2 牛顿的时空观和决定论 .....          | 21 |
| 2.3 宇宙学原理 .....               | 24 |
| 2.4 白夜佯谬 .....                | 25 |
| 2.5 爱因斯坦的贡献 .....             | 27 |
| 第 3 讲 相对论浅释 .....             | 33 |
| 3.1 历史背景 .....                | 33 |
| 3.2 狭义相对论 .....               | 34 |
| 3.3 动尺缩短和动钟变慢 .....           | 38 |
| 3.4 速度的合成 .....               | 41 |
| 3.5 质能（质量和能量的）等价关系 .....      | 42 |
| 3.6 爱因斯坦的引力理论（广义相对论） .....    | 43 |
| 3.7 广义相对论的三个关键性检验及其他 .....    | 46 |
| 第 4 讲 我们的宇宙——膨胀的宇宙 .....      | 52 |
| 4.1 爱因斯坦方程的宇宙解 .....          | 52 |
| 4.2 哈勃定律 .....                | 53 |



|      |                                                                                    |    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3  | 热大爆炸宇宙论                                                                            | 55 |
| 4.4  | 宇宙残余的背景辐射                                                                          | 56 |
| 4.5  | 暗物质和暗能量                                                                            | 58 |
| 4.6  | 天体物理观测卫星的应用                                                                        | 59 |
| 4.7  | 宇宙学的自然单位制和普朗克尺度                                                                    | 62 |
| 第5讲  | 我们的宇宙——宇宙演化简史                                                                      | 64 |
| 5.1  | 宇宙的创生时期( $0 < t < 10^{-43}$ s)                                                     | 64 |
| 5.2  | 普朗克时期 ( $t \sim 10^{-43}$ s)                                                       | 65 |
| 5.3  | 大统一时期 ( $t_{\text{pl}} < t < 10^{-35}$ s) 及暴胀时期 ( $10^{-35}$ s $< t < 10^{-32}$ s) | 65 |
| 5.4  | 夸克-轻子时期 ( $10^{-32}$ s $< t < 10^{-6}$ s)                                          | 66 |
| 5.5  | 强子-轻子时期 ( $10^{-6}$ s $< t < 1$ s)                                                 | 66 |
| 5.6  | 辐射时期和核合成时期 ( $1$ s $< t < 2 \times 10^5$ 年)                                        | 67 |
| 5.7  | 星系时期 ( $2 \times 10^5$ 年 $< t < 10^9$ 年)                                           | 68 |
| 5.8  | 恒星时期 ( $t > 10^9$ 年)                                                               | 68 |
| 5.9  | 关于人择原理                                                                             | 69 |
| 第6讲  | 量子物理学的发展                                                                           | 72 |
| 6.1  | 宇观物理学中的微观粒子                                                                        | 72 |
| 6.2  | 经典物理学在微观世界出了问题                                                                     | 73 |
| 6.3  | 量子观念的提出                                                                            | 74 |
| 6.4  | 原子结构和光谱的研究引到旧量子论                                                                   | 75 |
| 6.5  | 新量子力学的第一个方案——矩阵力学的产生                                                               | 77 |
| 6.6  | 新量子力学的第二个方案——波动力学的产生                                                               | 78 |
| 6.7  | 波函数的统计诠释                                                                           | 80 |
| 6.8  | 海森伯的不确定关系                                                                          | 81 |
| 6.9  | 相对论性量子力学的提出                                                                        | 82 |
| 6.10 | 2012年的诺贝尔物理学奖——量子世界里的粒子控制                                                          | 84 |
| 第7讲  | 微观世界的层次                                                                            | 86 |
| 7.1  | 中子的发现和原子核组成的确定                                                                     | 86 |
| 7.2  | 大量强子的发现                                                                            | 87 |



|        |                                 |     |
|--------|---------------------------------|-----|
| 7.3    | 强子的对称性和夸克模型的提出                  | 89  |
| 7.4    | 粲夸克的提出和 $J/\Psi$ 粒子的发现          | 91  |
| 7.5    | 底夸克的发现和 B 介子                    | 92  |
| 7.6    | 第六味夸克——顶夸克的发现                   | 92  |
| 7.7    | 电子性质的深入研究和量子电动力学的重正化            | 93  |
| 7.8    | $\mu$ 子的发现和 “ $e-\mu$ 之谜”       | 95  |
| 7.9    | $\tau$ 子的发现和 “ $e-\mu-\tau$ 之谜” | 96  |
| 7.10   | 中微子的发现和有关它们的 “谜”                | 97  |
| 7.11   | 轻子和夸克的分代                        | 100 |
| 第 8 讲  | 基本粒子的标准模型                       | 101 |
| 8.1    | 基本粒子和相互作用                       | 101 |
| 8.2    | 引力相互作用                          | 102 |
| 8.3    | 电磁相互作用                          | 103 |
| 8.4    | 弱相互作用                           | 104 |
| 8.5    | 中间玻色子理论和弱电统一理论                  | 107 |
| 8.6    | 强相互作用和标准模型                      | 109 |
| 8.7    | 一些讨论                            | 114 |
| 8.8    | 中微子振荡                           | 115 |
| 第 9 讲  | 对称性和守恒量                         | 118 |
| 9.1    | 对称性和不变性                         | 118 |
| 9.2    | 诺特 (A.E.Nöther) 定理              | 118 |
| 9.3    | 处理对称性的数学工具——群论                  | 119 |
| 9.4    | 麦克斯韦方程的规范不变性                    | 120 |
| 9.5    | 量子力学中的规范不变性                     | 122 |
| 9.6    | 作用量原理                           | 123 |
| 第 10 讲 | 微观物理学和宇观物理学的联系                  | 127 |
| 10.1   | 极早期宇宙和粒子物理理论                    | 127 |
| 10.2   | 关于大统一理论                         | 127 |



|        |                          |     |
|--------|--------------------------|-----|
| 10.3   | 强子及轻核形成的问题               | 130 |
| 10.4   | 宇宙早期核合成的理论               | 130 |
| 10.5   | 宇宙学信息对中微子代数 $N_\nu$ 的限制  | 133 |
| 10.6   | 正反物质不对称的问题               | 135 |
| 第 11 讲 | 宏观物质世界的复杂性               | 138 |
| 11.1   | 引言                       | 138 |
| 11.2   | 宏观物理学的两类问题               | 139 |
| 11.3   | 凝聚态物理学及其重要性              | 140 |
| 11.4   | 物质在分子层次的复杂性              | 143 |
| 11.5   | 高温 (高超导转变温度 $T_c$ ) 超导物理 | 144 |
| 11.6   | 低维物理和介观物理                | 145 |
| 11.7   | 决定论和随机性                  | 145 |
| 11.8   | 交叉科学                     | 146 |
| 第 12 讲 | 量子流体和量子光学                | 148 |
| 12.1   | 什么是量子流体                  | 148 |
| 12.2   | 低温物理学的进展                 | 148 |
| 12.3   | 超流性的发现                   | 150 |
| 12.4   | 玻色-爱因斯坦凝聚 (BEC)          | 151 |
| 12.5   | $^3\text{He}$ 超流体及其相变的发现 | 152 |
| 12.6   | 量子光学                     | 154 |
| 12.7   | 激光精密光谱学                  | 157 |
| 第 13 讲 | 激光冷却和捕获原子                | 161 |
| 13.1   | 从 1997 年的诺贝尔物理学奖说起       | 161 |
| 13.2   | 激光冷却和捕获原子技术在科学上的应用       | 161 |
| 13.3   | 激光冷却和捕获原子技术的发展           | 162 |
| 13.4   | 激光冷却原子的物理机制              | 164 |
| 13.5   | 激光捕获原子——原子阱——的物理机制       | 166 |
| 13.6   | BEC 和 2001 年的诺贝尔物理学奖     | 167 |



|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| <b>第 14 讲 分数量子霍尔效应</b> .....          | 170 |
| 14.1 霍尔效应 .....                       | 170 |
| 14.2 量子霍尔效应.....                      | 170 |
| 14.3 电磁计量的量子基准.....                   | 172 |
| 14.4 半导体异质结.....                      | 174 |
| 14.5 分数量子霍尔效应.....                    | 176 |
| <b>第 15 讲 高压物理学</b> .....             | 180 |
| 15.1 高压物理学的意义和研究领域.....               | 180 |
| 15.2 高压物理学的先驱者.....                   | 181 |
| 15.3 高压物理学的发展.....                    | 183 |
| 15.4 超高压的产生.....                      | 184 |
| 15.5 超高压下的凝聚态物理学.....                 | 186 |
| 15.6 毛河光(H. K. Mao)在超高压物理学方面的工作 ..... | 186 |
| 15.7 超高压下地壳和地幔物质的研究.....              | 190 |
| <b>习题</b> .....                       | 192 |
| <b>数学附注</b> .....                     | 200 |
| 1. 矢量 .....                           | 200 |
| 2. 矩阵 .....                           | 206 |
| 3. 群 .....                            | 210 |
| 4. 张量 .....                           | 215 |
| <b>外国人名及专用名索引</b> .....               | 218 |
| <b>书中出现的诺贝尔奖索引</b> .....              | 226 |

# 第 1 讲

## 前 言

### 1.1 大家都可以来了解现代物理学前沿

我们今天开始上这个课。这个课的名字很大：现代物理学前沿选讲。其实，这个课可以在任何水平上来讲。比如说，如果给研究生开这个课，给他们介绍一些可能的研究方向，我想是很合适的；如果在你们上大学三年级或四年级时讲，给你们进一步选择专业做参考，也是可以的。我们现在就和刚进大学的同学们讨论这方面的问题，是不是太早一点呢？我想也未必。记得在大概 1947、1948 年的时候，我还在清华大学念书，课余曾经给工人夜校的青年工人们讲过一点科学知识，有几次我就试着跟他们谈了一些关于物质的组成和运动的问题。工人们知道我是物理系的，跟我提出了许多他们听到和想到的物理问题。我看他们的兴趣还挺广，就跟他们谈了一些有关相对论和宇宙起源的、当时还算相当前沿的物理知识，他们好像也可以理解。事实上，对于希望了解物理学的青年人来说，重要的不是知道许多描写现代物理学前沿问题细节的高等数学公式和推导这些公式的数学技巧，而是了解：有关这些问题，我们今天已经从物理上解答了多少？还有些什么问题需要我们继续努力去寻求解答？也就是说，当你们面临物理学这一大片原野时，尽早鸟瞰一下这片原野开垦的大致情况和前沿在哪里，还是很有必要的。所以我说这种问题可以在任何水平上来讨论。当然，随着学习的深入，会要求大家从定性的鸟瞰进入定量的描述。所以，随着对象的不同，讲这个课的方式也不一样。如果是跟高年级同学来讲或跟研究生同学来讨论这方面的问题，那么就会有许多数学牵涉进来，像线性代数、微积分、高等代数、高等



几何等一些中学没有教过的数学。对于还没有学过这些数学的同学，开始的时候可以对有关公式的推导跳过去，但是把问题记下来，等到你们在数学课上或自己看数学参考书学到有关知识时，再联系起来加以解决。这时，你们就会像遇到久已向往的人那样，感到由衷的喜悦。不过，考虑到大多数同学的学习进度，在开始的半个学期，我还是尽量只用中学已经学过的那些数学知识。实在要用到一些高等数学的观念时，简单的我就在黑板上临时说明，复杂的就在书末以数学附注的形式从头开始加以介绍。写这些附注的目的，完全是为了同学们现在和将来学习时参阅方便，既不试图代替专门的数学课程，也不追求系统完备。另外，我假设同学们都掌握了中学时代应当掌握的那些基础物理知识。不过，如果有同学听讲的时候感到有问题不太清楚，请随时举手示意向我提问，或者先记下来，等到课间休息时或课后再来和我讨论。要是时间来不及，自己下课后再去查书也是可以的。

## 1.2 为什么要选修物理学

我不知道我们同学选学物理这个学科都经过了一些什么考虑。我只回想起当初我是为什么要选修物理的。我记得初中时候教物理的老师很好。他上课的时候，我听不懂时向他提一些问题，有的问题他当时就解释了，有些问题一时解释不了的，他就让我课后上他的休息室去，并且把他大学时的教科书翻出来。我还记得就是《Duff 物理学》。他借给我，让我自己看。我看后经过自己的思考，并且自己动手做了些计算，搞清楚了原来不懂的问题，感到很高兴。从那个时候开始我就对物理有了兴趣。后来上高中时，我也常找这位老师或到校图书馆借物理方面的书自学。越学兴趣越大，后来考西南联大时就选择了物理系。我想同学们选修物理多半也是因为你们对物理有了兴趣。

物理学家运用实验方法和数学方法，尽可能严格地揭示自然规律，这些实验方法和数学方法对其他自然科学也是适用的。物理学的实验设备、实验的及理论的方法的发展成为众多别的学科及其持续发展的基础。科学的严格数学化表述也是从物理学开始的。物理学一方面是基础科学，



以研究自然界中物质结构和运动的基本规律为目的，富有成果而且几乎包罗万象；另外一方面物理学又是对许多其他学科起带头作用的一门学科，对其他学科有着深远的有时甚至是决定性的影响，物理学研究因而成为自然科学和工程科学各学科不可或缺的组成部分。它曾经是并且仍将是基于现代技术之上的经济发展的必要根基。所以，尽管生物工程、信息科学和材料工程等新兴学科，在进入 21 世纪以来已经吸引了很多人的注意，但是联合国教科文组织仍然把 2005 年确定为“世界物理年”，用来纪念 20 世纪的伟大物理学家爱因斯坦



图 1.1 爱因斯坦  
(A. Einstein)

(图 1.1)，同时也提醒大家：不要忘了物理学在认识世界和知识创新方面的基础作用。从历史上看，物理学的发展对全世界三次大的技术革命起到了最为关键的主导作用。因此，可以毫不夸张地说，很难举出人类哪一方面的知识领域是和物理学无关的。物理现象存在于生活的每一个角落，发生在宇宙的每一个地方。物理学的研究成果源源不断地得到应用，而社会又对物理学不断提出新的研究课题。在科学以空前的规模和速度突飞猛进的今天，尤其需要从各种角度、各种层次来考察和探讨：物理学将给人们提供什么新的观念？物理学怎样推动社会前进？社会又将如何有效地发挥物理学的作用并促进物理学的发展？但是，近年来，社会公众的物理意识在削弱、淡薄，长此下去，物理学的发展势必受到影响。全球举行“2005 世界物理年”活动，其主题是“物理学与社会”，它的宗旨是一方面鼓励和推动物理学工作者继续为人类社会的进步与文明做出新的贡献，同时，通过展示物理学在社会、经济、技术、文化等方面的重要作用，在全球范围内争取公众对物理学的理解与支持，坚定公众对物理学的信念，推动物理教育，培育物理人才，使物理学在 21 世纪得到新的发展。事实上，物理学本身确实是非常奇妙、非常有趣的一门学问，学起来其乐无穷！它帮助我们深入地了解到自然界许多奥妙现象的本质。物理学最讲究实证，以观测和实验为基础；最推崇理性，不满足于观测和实验所揭示的现象，而要寻求现象背后隐藏的规律；既善于根据对现象的概括和抽象，做出大胆的假设，对现象做出理论解释；又敢于大胆





怀疑、寻根问底，考究已有的假设和理论是否真能符合实际。物理学研究令人振奋，使人陶醉。正如艺术创造力一样，理解和发现新事物是人类前进的基本动力。它不能被压抑、限制或禁止。在物理学研究中充满好奇和快乐、失败与成功，这种强烈的情感令研究者入迷。他们的动机是从新的认识中获得可能的新创造，从而服务人民，造福社会。物理学研究使人们有可能更好地了解这个世界，发展有关这个世界的思想，还能发展新技术。新技术又使人们的日常工作更为便利，更能够持久地享受生活。但我们必须意识到，技术有可能用于并曾经被用于破坏和滥杀无辜。

科学家、包括物理学家在内的自然科学家，对人类生活的诸多方面有着特殊的责任，因为他们拥有知识和洞察力。为了我们的后代，在保护自然和环境方面，他们的责任更为重大。他们应该在科学中倡导宽容、诚实和尊严，反对蓄意滥用科学。学术自由和民主是社会的财富，也是获取新知识的重要前提条件。物理学家应该同所有的科学家一样，发扬学术自由，提倡民主讨论。在科学上，无论是对自己还是对别人都必须诚实和正直。拒绝科学中的不端行为，谴责造假、剽窃和篡改数据。参与批评并接受监督和检查。科学家之间也会有不同意见甚至利益冲突。在基础研究方面，固然经常有不同学派之间的论战；在应用型研究中，当其中的某些人负有政治责任或需要坚持原则时，这种冲突也是在所难免的。公平、公开、公正的，以实践检验为归依的学术争论，对科学的发展是有益无害的。解决矛盾的方法应该是平心静气的商讨和对不同意见的耐心考虑、宽容和尊重。科学家应该时刻反省自己的研究是否遵守法律和公德，物理学家也应如此。物理学带来的技术发展可能被滥用，甚至用于战争和恐怖活动。历史上，物理学家也曾多次公开明确地对技术本身的潜在危险和自然科学研究成果的军事应用提出警告。

我们学了物理学以后，对于自然界许多现象和规律固然会有所了解，可以加以运用，同时更会激发我们的好奇心，对不了解的现象和规律去进一步研究；会引导我们去探索、去思考。从学习物理学得到的训练，会增加我们看待和处理事物时的理性成分。真正学懂物理学中认真、求实和创新的精神，对一个人一生都是有好处的。即使他以后转行，不再



从事物理工作，物理学精神的熏陶，也会使他更容易判别什么是真的，什么是假的，什么是合理的，什么是不合理的，什么是可信的，什么是不可信的。换言之，会提高他理性判断和创新思维的能力。

刚刚过去的 20 世纪曾经是物理学的世纪。20 世纪纯粹物理学研究的成就增进了人类对自然界基本规律的了解，其深度和广度都是在此以前无法想象的。在物理学中纯粹的研究及其应用是密不可分的。没有纯粹研究，就没有新知识产生；没有新的知识，文化和文明之花将凋谢。只有当一个国家的国民受到广泛的教育时，他们才可以判断某种新知识究竟是造福人类还是会给人类带来灾难。将来，这种教育必定会日益建立在数学和科学教育（其中物理学教育是重要的一部分）的宽广基础上。

### 1.3 现代物理学中的不同专业

过去有很多著名的物理学家是多才多艺的多面手。像杰出的意大利物理学家伽利略(G.Galileo)同时又是天文学家，还创造出自己的第一台望远镜。像也是意大利出生的著名物理学家费米(E.Fermi)，不但同时是杰出的实验和理论物理学家，而且还主持创建了世界上第一个核裂变反应堆(图 1.2)。随着时代的进步，现代物理学已经成为一个大的科学，所以虽然还是有人具备多方面的才能，但学物理的人也不得不进行分工。比如说有些学物理的同学将来可能会专门从事创造新的、具有超越性能的仪器，或者去做一些组装大型设备，像加速器和有关探测器的工作。现

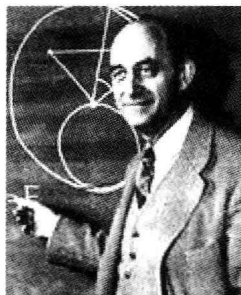
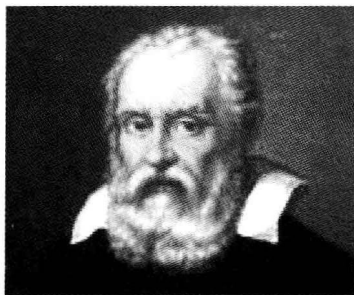


图 1.2 伽利略(G. Galileo)和费米(E.Fermi)



图 1.3 高锟

代实验要求十分高的探测精度和非常快的数据处理速度，没有信息技术的高度发展，许多重要的实验都将无法进行。2000 年的诺贝尔物理学奖授予阿尔费罗夫 (Z.I.Alferov)、克雷默 (H.Kroemer) 和基尔比 (J.S.Kibly) 等三位科学家，正是为了表彰他们发明快速晶体管、激光二极管和集成电路（芯片），从而奠定了现代信息技术基础的贡献。2009 年诺贝尔物理学奖的一半被授予英国华裔科学家高锟

(图 1.3) 以及两位美国科学家。高锟获奖，是因为他在“有关光在纤维中的传输并用于光学通信方面”做出了突破性成就。在大型设备方面，研究粒子物理的高能加速器规模越来越大，就拿北京正负电子对撞机和测量对撞中所产生粒子束的大型谱仪来说，设计、制造和运转这些装置的人在一千人以上，他们都是很好的物理学家，有很高的成就。另一部分物理学家是利用仪器设备做实验，希望在实验中揭示或发现新现象的人。做一个大型实验，往往需要几十到几百个实验物理学家分工合作，夜以继日、专心致志地辛勤工作，才能在浩瀚的数据中有所发现。还有一部分理论物理学家，他们着重对实验结果进行理论分析，对所发现的新现象提出理论见解，同时根据这些分析和见解，提出他们认为应当进一步进行的实验研究。此外也还有一些专家配合工作，比如说搞计算机、计算数学和信息处理的专家。所以，现在作为一个大科学的物理学，不像 17、18 和 19 世纪那样依靠个别人就能够做出许多很好的成就，因为我们对物质的探索已经越来越深入，规模也越来越大了。

随着物理学向其他学科的渗透和交叉，现代物理学中所发展的仪器设备、实验技术和理论观念已经促使生物物理学、材料科学和信息科学等新兴学科迅速发展，并成为它们不可缺少的组成部分。1960 年发明的激光是光盘(CD)技术、激光焊接技术、激光眼科学和其他所有激光光学技术的基础。1947 年发明的晶体管对我们所有的电子设备发展曾经起到了决定性作用。没有晶体管和其他半导体器件及其在大规模集成电路中的超小型化，就不会有计算技术，也不会有控制电子设备技术



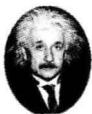
和现代电子通信技术的发展。没有 1924 年泡利 (W.Pauli) 首先提出的核自旋假说并很快得到实验证实, 我们就不可能利用核磁共振成像 (NMRI) 的医学检验技术来获得患者体内的截面图像, 也就没有用以控制高速电子通信和卫星导航系统 (GPS) 重要部件的原子钟。纯粹物理学研究的应用对于经济发展的重要性是非常明显的。因此原来从事上述三种专业的物理学家已经有不少投入了这些新兴学科的行列, 作出了重要的贡献。

## 1.4 现代物理学的前沿

19 世纪末, 科学家开始揭示物质的电子结构。这就首次使人们了解 X 射线的本质, 使理解由贝克勒尔 (H.A.Becquerel)、玛丽·居里 (M.S.Curie) 和皮埃尔·居里 (P.Curie) (图 1.4) 所发现的天然放射性成为可能。他们共同获得了 1903 年的诺贝尔物理学奖。1906 年诺贝尔物理学奖的获得者汤姆孙 (J.J.Thomson) 于 1897 年发现了第一种不可分的粒子, 即电子。20 世纪初, 爱因斯坦 (A.Einstein) 以他的相对论改变了我们关于时间和空间的概念。他在普朗克 (M.V.Planck) 关于能量量子观念的基础上进一步提出了光子观念, 它是光的基本粒子。海森伯 (W.Heisenberg)、薛定谔 (E.Schrödinger)、狄拉克 (P.A.M.Dirac) 和泡利 (W.Pauli) 借助于正在发展中的量子论解决了不仅对于光, 而且对于所有粒子都适用的波粒二相性问题。这些物理学家都是诺贝尔物理学奖的得主, 以后在介绍到他们各自的贡献时将进一步加以说明。我们从量子理论中已经认识到在微观世界里关于因果关系和决定论的传统观念变得“模糊”了, 并且认识到这种



图 1.4 贝克勒尔 (H.A.Becquerel)、玛丽·居里 (M.S.Curie) 和皮埃尔·居里 (P.Curie)



“模糊”是怎么产生的。这些发现构建了 20 世纪现代物理学的雏形。从此物理学家不断发现新的、令人激动的自然现象及其规律。从非线性动力学中我们还认识到，由于非线性效应使初始条件的细微变动引起指数增长式的巨大影响（所谓“蝴蝶效应”，意指即使远在亚马孙丛林中一只蝴蝶扇动了一下翅膀，由于大气动力学非线性效应的传递和强化，也可能在西太平洋引起一场大风暴），因果关系和决定论在宏观世界中也变得“模糊”起来。人们了解到，尽管自然规律非常严格，但世界上还有很多重要的东西实际上无法预测，这是物理学的许多重要新发现之一。

现代物理学的前沿在哪里？概括来说，在宇观、微观、宏观尺度上都存在有现代物理学的前沿。宇观尺度上的前沿，就是大到宇宙范围的天体物理学和宇宙学问题。由于现代天文探测技术的发展，我们人类对于宇宙中星体、星系和星系团观测所得到的资料，比 17 世纪初伽利略拿一个单筒望远镜观测到的，不知道要多出和好出多少倍。现在的望远镜并不需要用人的肉眼去直接观看，人眼的分辨率毕竟是很低的。靠一个叫做 CCD（charge-coupled device，电荷耦合探测器）的部件去感受来自星体的光线，敏感度比肉眼高得多。就是因为发明了 CCD——电荷耦合器件，美国科学家威拉德·博伊尔（Willard Boyle）和乔治·史密斯（George Smith）才分享了 2009 年诺贝尔物理学奖的另一半。CCD 现在并不是很稀罕的东西，数码照相机和录像机里就有这种元件在起作用。光线弱的时候影像由普通的照相机照不出来，因为底片感光的灵敏性不够；但若用录像机就可以录出来，因为它里面有 CCD 元件，对更弱的光也敏感。望远镜里面通过 CCD 元件感光以后，信号直接输入到计算机里面去，存储起来，人要去看来再从里面调出来。如果没有高分辨率的望远镜，没有很敏感的元件，没有计算机的辅助，怎么能够看到那么远的宇宙呢？根据现代上天（借助于摆脱大气层屏障的人造卫星，如“哈勃卫星”、“钱德拉卫星”、“宇宙背景探测者 COBE 卫星”以及“威尔金森微波各向异性探测器 WMAP 卫星”等）和入地（利用深入地面的矿井，如日本“神冈中微子探测实验装置 Kamiokande”所在的矿井）的新型探测技术，能够探测到的更丰富的资料，都将增加我们关于宇宙起源、结构和动力学的知识。天体物理学家在理论物理学家的协同下，已经形成我们对宇宙的更现实、更具体、也是更深远的了解。实验和理论的发展将